

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004 年 8 月 12 日 (12.08.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/068917 A1

(51) 国際特許分類: H05H 1/46, H01L 21/3065

(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/000665

(22) 国際出願日: 2004 年 1 月 26 日 (26.01.2004)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願2003-17673 2003 年 1 月 27 日 (27.01.2003) JP

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 東京エレクトロン株式会社 (TOKYO ELECTRON LIMITED)

[JP/JP]; 〒1078481 東京都港区赤坂 5 丁目 3 番 6 号 Tokyo (JP). 日本高周波株式会社 (NIHON KOSHUHA CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2260011 神奈川県横浜市緑区中山町 1 1 1 9 Kanagawa (JP).

(72) 発明者; および

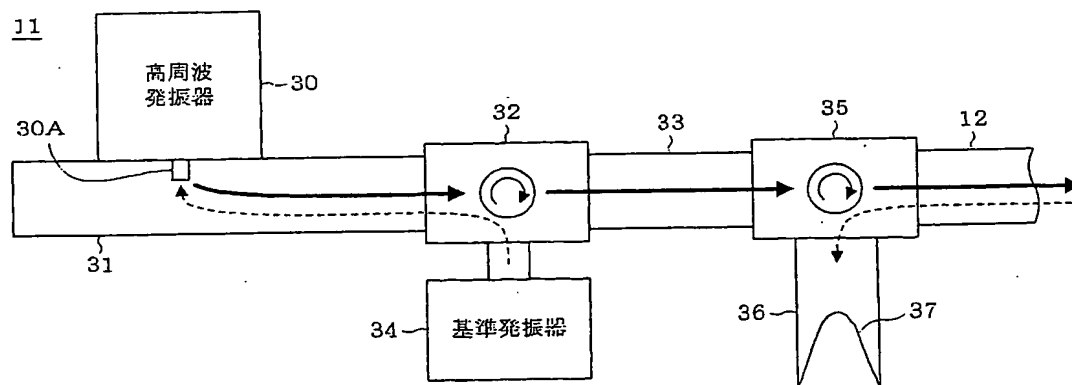
(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 石井 信雄 (ISHII, Nobuo) [JP/JP]; 〒6580052 兵庫県神戸市東灘区住吉東町 5-2-2-1 2 0 1 Hyogo (JP). 篠原 己拔 (SHI-NOHARA, Kibatsu) [JP/JP]; 〒2260011 神奈川県横浜市緑区中山町 1 1 1 9 日本高周波株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 山川 政樹 (YAMAKAWA, Masaki); 〒1000014 東京都千代田区永田町 2 丁目 4 番 2 号 秀和溜池ビル 8 階 山川国際特許事務所内 Tokyo (JP).

/続葉有/

(54) Title: PLASMA PROCESSOR AND PLASMA PROCESSING METHOD

(54) 発明の名称: プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法



30...HIGH-FREQUENCY OSCILLATOR  
34...REFERENCE OSCILLATOR

(57) Abstract: A plasma processor comprising a table for mounting an object of processing thereon, a container containing this mounting table and in which plasma is generated by a high-frequency electromagnetic field, a high-frequency oscillator (30) for generating a high-frequency electromagnetic field, and a reference oscillator (34) lower in output power than the high-frequency oscillator (30) and stable in oscillation frequency. A reference signal produced by the reference oscillator (34) is input to the high-frequency oscillator (30) to thereby fix the oscillation frequency of the high-frequency oscillator (30) to the frequency of a reference signal. Therefore, a load matching is effected accurately to improve an energy efficiency when an automatic matching device is provided between the high-frequency oscillator (30) and the container is designed based on the frequency of a reference signal.

(57) 要約: 被処理体が載置される載置台と、この載置台を収容するとともに高周波電磁界により内部にプラズマが生成される容器と、高周波電磁界を生成する高周波発振器 (30) と、この高周波発振器 (30) よりも出力電力が低くかつ発振周波数が安定した基準発振器 (34) とを備えている。基準発振器 (34) により生成された基準信号を高周波発振器 (30) に注入することにより、高周波発振器 (30) の発振周波数が基準信号の周波数に固定される。したがって、高周波発振器 (30) と容器との間に設けられる自動整合装置を基準信号の周波数を基に設計することにより、負荷整合を正確に行い、エ

/続葉有/

WO 2004/068917 A1



(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

## プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法

## 技術分野

本発明は、プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に関し、より詳しくは高周波電磁界を用いてプラズマを生成し、半導体やLCD (liquid crystal display)、有機EL (electro luminescent panel) などの被処理体を処理するプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に関する。

## 背景技術

半導体装置やフラットパネルディスプレイの製造において、酸化膜の形成や半導体層の結晶成長、エッチング、またアッシングなどの処理を行うために、プラズマ処理装置が多用されている。このプラズマ処理装置の一つに、処理容器内に高周波電磁界を供給することにより、処理容器内のガスを電離または解離させてプラズマを生成する高周波プラズマ処理装置がある。この高周波プラズマ処理装置は、低圧力で高密度のプラズマを生成できるので、効率のよいプラズマ処理が可能である。

図13は、従来の高周波プラズマ処理装置の全体構成を示す図である。このプラズマ処理装置は、上部が開いた処理容器1001を有している。この処理容器1001の底面中央部には、基板1004を載置するための載置台1003が固定されている。処理容器1001の底面周縁部には、真空排気用の排気口1005が設けられている。処理容器1001の側壁には、処理容器1001内にガスを導入するガス導入用ノズル1006が設けられている。処理容器1001の上部開口は、誘電体板1007で閉塞されている。この誘電体板1007の上には、平面アンテナ1015が配設されている。この平面アンテナ1015は、導波管1014により高周波発振器1011に接続されている。

高周波発振器1011により生成された高周波電磁界は、導波管1014およ

び平面アンテナ1015を介して処理容器1001内に供給される。処理容器1001内では、供給された高周波電磁界により、ノズル1006から導入されたガスが電離または解離してプラズマが生成され、基板1004に対する処理が行われる。

ここで、導波管1014において、電源側から見た負荷側のインピーダンスは、ガスが電離または解離してプラズマが生成される前後で変化する。このため、プラズマ生成前に電源と負荷とのインピーダンスの整合がとれていたとしても、プラズマ生成により負荷のインピーダンスが変化すると整合がとれなくなり、処理容器1001内に効率よく高周波電磁界を供給できなくなる。そこで、電源側と負荷側とのインピーダンスの整合を自動的に行う自動整合装置が提案された。

図14は、この自動整合装置の一構成例を示すブロック図である。この自動整合装置は、導波管1014に設けられた負荷整合器1016と、この負荷整合器1016の駆動装置1017と、同じく導波管1014に設けられた検波器1018と、この検波器1018の出力信号に基づき負荷整合器1016の駆動装置1017を制御する制御装置1019とから構成されている。

ここで、負荷整合器1016は、導波管1014の内壁面から半径方向に突出する複数のスタブから構成されている。例えば、導波管1014の軸線方向に略 $\lambda_g/4$ の間隔で配設された3本のスタブと、これら3本のスタブに対向して配設された更に3本のスタブとから構成される。なお、 $\lambda_g$ は、導波管1014を伝搬する高周波電磁界の管内波長である。スタブは金属製の円柱体であり、導波管1014の内壁面から半径方向に突出する長さである突出長によりスタブのリアクタンスが変化し、それに応じて導波管1014内のリアクタンスが変化する。スタブの突出長は、負荷整合器1016の駆動装置1017により自在に変更できるようになっている。

検波器1018は、導波管1014の内壁面から半径方向に突出する複数のプローブから構成されている。例えば、導波管1014の軸線方向に略 $\lambda_g/8$ の間隔で配設された3本のプローブから構成される。検波器1018は、各プローブが取り出した導波管1014内の高周波電磁界の電力を検波し、その結果を制御装置1019に出力する。

制御装置 1019 は、検波器 1018 の出力信号から負荷側のインピーダンスを計算し、電源側と負荷側とのインピーダンス整合条件を満たすようなスタブの突出長を求める。そして、その結果に基づき負荷整合器 1016 の駆動装置 1017 を制御してスタブの突出長を調整し、電源側と負荷側とのインピーダンスの整合をとる（例えば、国際公開第 01/76329 号パンフレットを参照）。

従来のプラズマ処理装置では、高周波発振器 1011 として安価なマグネトロンがよく用いられている。しかし、マグネトロンには次のような欠点がある。

第 1 の欠点は、発振周波数分布に広がりがあり、同じ条件下で運転していても時間とともに中心周波数  $f_c$  にぶれが生じることである。例えば図 15A に示すように、中心周波数  $f_c$  が 2.45 GHz のときに、発振周波数分布が  $\pm$  数 10 MHz 程度の広がりをもつ場合がある。

第 2 の欠点は、中心周波数  $f_c$  が出力電力に応じて変化することである。例えば図 15B に示すように、マグネトロンの出力電力が 1.5 KW のときに中心周波数  $f_c$  が 2.45 GHz であっても、出力電力を 3 KW にすると中心周波数  $f_c$  が 2.46 ~ 2.47 GHz に変化する場合がある。

高周波発振器 1011 の発振周波数分布に広がりがあると、高周波電磁界は中心周波数  $f_c$  と異なる周波数成分を含むことになり、中心周波数  $f_c$  に対応する導波管 1014 の管内波長  $\lambda_g$  とは異なる波長成分  $\lambda_1$  を含むことにもなる。その上、長時間の運転または出力電力を変えることにより中心周波数が  $f_c$  から変化すると、それに応じて導波管 1014 の管内波長成分の分布も変化するため、 $\lambda_g$  とは異なる波長成分  $\lambda_1$  が増加することになる。

一方、図 14 に示した自動整合装置は、高周波発振器 1011 の中心周波数  $f_c$  に対応する導波管 1014 の管内波長  $\lambda_g$  を基準にして設計される。上述した例では、自動整合装置の検波器 1018 のプローブおよび負荷整合器 1016 のスタブがそれぞれ略  $\lambda_g/8$  間隔および略  $\lambda_g/4$  間隔で導波管 1014 に配設されたときに、正確な検出結果に基づいた適切な制御を行い、インピーダンス整合をとることができる。

しかし、 $\lambda_g$  とは異なる波長成分  $\lambda_1$  に対しては、検波器 1018 のプローブ間

隔および負荷整合器 1016 のスタブ間隔はそれぞれ  $\lambda_1/8$  または  $\lambda_1/4$  とはならない。このため、検波器 1018 は誤差を含んだ検出結果を出力し、制御装置 1019 はこの誤差を含んだ検出結果に基づきかつ負荷整合器 1016 のスタブ間隔を  $\lambda_1/4$  としてインピーダンス整合条件を求め、その演算結果を基に各スタブの突出長を調整することになり、インピーダンス整合を正確に行うことができなくなる。

したがって、発振周波数分布に広がりがありかつ周波数の安定性が悪いマグネトロンを高周波発振器 1011 として用いると、高周波電磁界の管内波長が  $\lambda_g$  とは異なる波長成分  $\lambda_1$  が支配的となる場合もあるため、自動整合装置を用いてもインピーダンス整合を正確に行うことができず、高周波電磁界を処理容器 1001 内に効率よく供給できなくなるという問題があった。

このような課題の解決策として、高周波発振器 1011 としてマグネトロンよりも周波数帯幅が狭く周波数安定性のよい発振器を用いることが考えられる。このような発振器の例として高出力のトランジスタ発振器やクライストロンなどを挙げることができる。しかし、これらの発振器はマグネトロンと比較して格段に高価であるので、これらの発振器を高周波発振器 1011 として用いると、プラズマ処理装置を廉価で提供できなくなってしまう。

#### 発明の開示

本発明はこのような課題を解決するためになされたものであり、その目的は、エネルギー効率のよいプラズマ処理装置の製造コストを抑制することにある。

このような目的を達成するために、本発明に係るプラズマ処理装置は、被処理体が載置される載置台と、この載置台を収容するとともに高周波電磁界により内部にプラズマが生成される容器と、高周波電磁界を生成する高周波発振器と、この高周波発振器よりも出力電力が低くかつ発振周波数が安定した基準発振器とを備え、基準発振器により生成された基準信号を高周波発振器に注入することにより、高周波発振器の発振周波数が基準信号の周波数に固定されることを特徴とする。

また、高周波電磁界を生成する高周波発振器よりも出力電力が低くかつ発振周

波数が安定した基準発振器により基準信号を生成するステップと、基準信号を高周波発振器に注入し高周波発振器の発振周波数を基準信号の周波数に固定するステップと、高周波発振器により生成された高周波電磁界を容器内に供給しプラズマを生成するステップと、プラズマを用い容器内に配置された被処理体に対し処理を行うステップとを備えたことを特徴とする。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の第 1 の実施例に係るプラズマ処理装置の全体構成を示す図である。

図 2 は、負荷整合器および検波器の一構成例を示す図である。

図 3 は、高周波発生源の一構成例を概念的に示す図である。

図 4 は、マグネトロンの出力特性と周波数固定幅を示すグラフである。

図 5 は、本発明の第 2 の実施例に係るプラズマ処理装置の要部構成を示す図である。

図 6 A および図 6 B は、アッテネータの一構成例を示す図である。

図 7 は、アッテネータの他の構成例を示す図である。

図 8 は、本発明の第 3 の実施例に係るプラズマ処理装置の要部構成を示す図である。

図 9 は、本発明の第 4 の実施例に係るプラズマ処理装置の要部構成を示す図である。

図 10 は、本発明の第 5 の実施例に係るプラズマ処理装置の構成を示す図である。

図 11 は、負荷整合器の他の構成例を示す図である。

図 12 A は、分岐導波管のショート板の一構成例を示す斜視図であり、図 12 B は、分岐導波管のショート板の他の構成例を示す斜視図である。

図 13 は、従来の高周波プラズマ処理装置の全体構成を示す図である。

図 14 は、自動整合装置の一構成例を示すブロック図である。

図 15 A および図 15 B は、マグネトロンの出力特性を示すグラフである。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照し、本発明の実施例について詳細に説明する。

(第1の実施例)

図1は、本発明の第1の実施例に係るプラズマ処理装置の全体構成を示す図である。この図では、一部の構成を機能ブロックで示している。

図1に示すプラズマ処理装置は、上部が開口した有底円筒形の処理容器1を有している。この処理容器1の底面中央部には、絶縁板2を介して載置台3が固定されている。この載置台3の上面に、被処理体として例えば半導体やLCDなどの基板4が配置される。処理容器1の底面周縁部には、真空排気用の排気口5が設けられている。処理容器1の側壁には、処理容器1内にガスを導入するガス導入用ノズル6が設けられている。例えばプラズマ処理装置がエッチング装置として用いられる場合には、ノズル6からArなどのプラズマガスと、CF<sub>4</sub>などのエッチングガスとが導入される。

処理容器1の上部開口は、そこから高周波電磁界を導入しつつ、処理容器1内で生成されるプラズマPを外部に漏らさないように、誘電体板7で閉塞されている。なお、処理容器1の側壁上面と誘電体板7との間にOリングなどのシール部材8を介在させ、処理容器1内の気密性を確保している。

誘電体板7の上には、処理容器1内に高周波電磁界を供給する電磁界供給装置のアンテナ（第2のアンテナ）が、載置台3に対向して配置されている。本実施例では、ラジアルラインスロットアンテナ（RLSA）15が例示されている。RLSA15は、誘電体板7によって処理容器1から隔離され、プラズマPから保護されている。誘電体板7およびRLSA15の外周は、処理容器1の側壁上に環状に配置されたシールド材9によって覆われ、RLSA15から処理容器1内に供給される高周波電磁界が外部に漏れない構造になっている。

電磁界供給装置は、高周波発生源11と、この高周波発生源11に接続された矩形導波管12と、この矩形導波管12に接続された矩形円筒変換器13と、この矩形円筒変換器13に接続された円筒導波管14と、この円筒導波管14に接続された上記RLSA15とを有している。導波管12、14の伝送モードはそれぞれTE<sub>10</sub>、TE<sub>11</sub>であり、矩形円筒変換器13は伝送モードをTE<sub>10</sub>からTE<sub>11</sub>に



変換する。矩形導波管 1 2 と矩形円筒変換器 1 3 と円筒導波管 1 4 とから第 1 の導波路が構成される。円筒導波管 1 4 には、後述する自動整合装置の検波器 1 8 および負荷整合器 1 6 が、上からその順に設置されている。矩形円筒変換器 1 3 と検波器 1 8 との間に更に円偏波変換器 2 0 を設置し、電磁界を回転モードにしてもよい。

ここで、RLSA 1 5 について説明する。RLSA 1 5 は、ラジアル導波路 2 1 を形成する互いに平行な 2 枚の円形導体板 2 2, 2 3 と、これら 2 枚の導体板 2 2, 2 3 の外周部を接続してシールドする導体リング 2 4 とを有する。ラジアル導波路 2 1 の上面となる導体板 2 2 の中心部には、円筒導波管 1 4 に接続される開口 2 5 が形成され、この開口 2 5 からラジアル導波路 2 1 内に高周波電磁界が導入される。ラジアル導波路 2 1 の下面となる導体板 2 3 には、ラジアル導波路 2 1 内を伝搬する高周波電磁界を誘電体板 7 を介して処理容器 1 内に供給するスロット 2 6 が複数形成されている。

導体板 2 3 上の中心部にはバンプ 2 7 が設けられている。バンプ 2 7 は導体板 2 2 の開口 2 5 に向かって突出する略円錐状に形成され、その先端は球面状に丸められている。バンプ 2 7 は導体または誘電体のいずれで形成してもよい。このバンプ 2 7 により、円筒導波管 1 4 からラジアル導波路 2 1 へのインピーダンスの変化を緩やかにし、円筒導波管 1 4 とラジアル導波路 2 1 との結合部での高周波電磁界の反射を抑制することができる。

次に、自動整合装置について説明する。この自動整合装置は、円筒導波管 1 4 に設置された負荷整合器 1 6 と、この負荷整合器 1 6 の駆動装置 1 7 と、同じく円筒導波管 1 4 に設置された検波器 1 8 と、この検波器 1 8 の出力信号に基づき負荷整合器 1 6 の駆動装置 1 7 を制御する制御装置 1 9 とから構成されている。

図 2 は、負荷整合器 1 6 および検波器 1 8 の一構成例を示す図であり、これらが設けられている円筒導波管 1 4 の軸線 (Z) を含む断面構成を示している。

負荷整合器 1 6 は、円筒導波管 1 4 の内壁面から半径方向に突出する複数のスタブから構成されている。例えば、円筒導波管 1 4 の軸線 (Z) 方向に略  $\lambda_g/4$  の間隔で配設された 3 本のスタブ 7 1 A, 7 1 B, 7 1 C と、これら 3 本のスタブ 7 1 A ~ 7 1 C に対向して配設された 3 本のスタブ 7 2 A, 7 2 B, 7 2 C と

から構成される。なお、スタブは、略 $\lambda_g/8$ の間隔で配設されていてもよい。ここで、 $\lambda_g$ は円筒導波管14を伝搬する高周波電磁界の管内波長であり、後述する基準信号の周波数に対応する波長である（以下同じ）。

スタブは、金属または誘電体の円柱体からなる。円筒導波管14の内壁面から半径方向に突出する長さである突出長によりスタブのリアクタンスが変化し、それに応じて円筒導波管14内のリアクタンスが変化する。スタブの突出長は、負荷整合器16の駆動装置17により自在に変更できるようになっている。

検波器18は、円筒導波管14の内壁面から半径方向に突出する複数のプローブから構成されている。例えば、円筒導波管14の軸線（Z）方向に略 $\lambda_g/8$ の間隔で配設された3本のプローブ81A、81B、81Cから構成される。なお、プローブは、 $\lambda_g \times N/2$ （Nは自然数）以外の間隔で3本以上設けられればよい。このような構成を有する検波器18は、各プローブが取り出した円筒導波管14内の高周波電磁界の電力を2乗検波し、その結果を制御装置19に出力する。

制御装置19は、検波器18の出力信号から負荷側のインピーダンスを計算し、電源側と負荷側とのインピーダンス整合条件を満たすようなスタブの突出長を求める。そして、その結果に基づき負荷整合器16の駆動装置17を制御してスタブの突出長を調整し、電源側と負荷側とのインピーダンスの整合をとる。

次に、高周波発生源11について説明する。図3は、高周波発生源11の一構成例を概念的に示す図である。この図に示す高周波発生源11は、高周波発振器30と、そのランチャ31と、3端子サーキュレータ32と、矩形導波管33と、基準発振器34と、3端子サーキュレータ35と、ダミーロード36とを有している。

ここで、高周波発振器30は、例えば0.9GHz～十数GHzの範囲内の所定周波数の高周波電磁界を生成する発振器であり、マグネトロンなどで構成される。なお、0.9GHz以下の高周波電磁界を生成する発振器を用いてもよい。

高周波発振器30はランチャ31の上に配設されている。このランチャ31は、一端がショートされた矩形導波管（第2の導波路）からなる。高周波発振器30のプローブ（第1のアンテナ）30Aがランチャ31の内部に突出し、このプローブ30Aから高周波電磁界が放射される。

ランチャ 31 の他端には、3 端子サーキュレータ 32 の第 1 端子が接続されている。サーキュレータ 32 の第 2 端子には矩形導波管 33 の一端が、第 3 端子には基準発振器 34 がそれぞれ接続されている。

さらに、矩形導波管 33 の他端には、3 端子サーキュレータ 35 の第 1 端子が接続されている。サーキュレータ 35 の第 2 端子には図 1 に示した矩形導波管 12 が、第 3 端子にはダミーロード 36 がそれぞれ接続されている。

サーキュレータ 32、35 はともに、第 1 端子からの入力電力を第 2 端子へ、第 2 端子からの入力電力を第 3 端子へ、第 3 端子からの入力電力を第 1 端子へそれぞれ無損失で伝送する受動素子である。

また、基準発振器 34 には、高周波発振器 30 よりも出力電力が低くかつ発振周波数が安定した発振器が用いられる。高周波発振器 30 の出力電力が 1 KW の場合には、例えば出力電力が 10 W 程度の誘電体発振器 (DRO) を用いることができる。発振器の価格はその出力電力に応じて高くなるので、基準発振器 34 の出力電力は低いほどよい。また、基準発振器 34 で生成される基準信号の周波数は、高周波発振器 30 の発振周波数を固定する所望の周波数に設定される。例えば、高周波発振器 30 の発振周波数を 2.45 GHz に固定する場合には、その 2.45 GHz の基準信号が用いられる。

また、ダミーロード 36 の端部には、電磁界吸収材 37 が配設されている。この電磁界吸収材 37 としては、例えば水を貯留したコーン形状のものなどが用いられる。

このような構成の高周波発生源 11 では、高周波発振器 30 のプローブ 30A からランチャ 31 内に放射された高周波電磁界は、サーキュレータ 32 により矩形導波管 33 へ送られ、さらにサーキュレータ 35 により図 1 に示した矩形導波管 12 へ送られ、矩形円筒変換器 13 および円筒導波管 14 を介して RLSA 15 へ導入される。そして、ラジアル導波路 21 の中心部から周縁部へ向かって放射状に伝搬しつつ、ラジアル導波路 21 の下面に複数形成されたスロット 26 から徐々に処理容器 1 内に供給される。処理容器 1 内では、供給された高周波電磁界により、ノズル 6 から導入されたプラズマガスが電離または解離してプラズマ P が生成され、基板 4 に対する処理が行われる。

一方、基準発振器 34 で生成された基準信号は、サーキュレータ 32 によりランチャ 31 に送られ、プローブ 30A から高周波発振器 30 に注入される。基準信号が高周波発振器 30 に注入されると、高周波発振器 30 の中心周波数  $f_c$  が基準信号の周波数に近い場合には、高周波発振器 30 の発振周波数が基準信号の周波数に引き寄せられ固定される。これにより、図 15A に示したように高周波発振器 30 の発振周波数分布に広がりがあっても、発振周波数が基準信号の周波数に収束し、発振周波数の周波数帯幅が狭くなる。また、基準信号は周波数安定性がよいので、その基準信号に高周波発振器 30 の発振周波数を固定することにより、高周波発振器 30 の発振周波数も安定化する。この結果、高周波発振器 30 の発振周波数のうち、基準信号の周波数と異なる周波数成分が低減される。

ここで、基準信号の周波数を  $f$ 、高周波発振器 30 に注入される基準信号の電力を  $P_i$ 、高周波発振器 30 の出力電力を  $P_o$ 、高周波発振器 30 の外部  $Q$  値を  $Q_e$  とすると、上述した方法により基準信号の周波数  $f$  に固定可能な高周波発振器 30 の発振周波数の周波数幅（以下、周波数固定幅という） $\Delta f$  は（1）式で表される。

$$\Delta f / f = 2 / Q_e \cdot (P_i / P_o)^{1/2} \quad \dots \dots (1)$$

したがって、高周波発振器 30 本来の中心周波数  $f_c$  と基準信号の周波数との差が周波数固定幅  $\Delta f$  を超えないような高周波発振器 30 を選択する必要がある。

なお、RLSA15 から反射してきた高周波電磁界は、サーキュレータ 35 によりダミーロード 36 へ送られ、電磁界吸収材 37 に吸収される。したがって、RLSA15 から反射してきた高周波電磁界が、サーキュレータ 32 により基準発振器 34 へ送られて基準発振器 34 が誤動作することを防止できる。なお、サーキュレータ 35 とダミーロード 36 とからなる構成は、円筒導波管 14 に設けてもよい。

本実施例では、基準信号の周波数を基に自動整合装置が設計される。より具体的に言えば、基準信号の周波数に対応する円筒導波管 14 の管内波長  $\lambda_g$  に対し、検波器 18 のプローブおよび負荷整合器 16 のスタブがそれぞれ例えば略  $\lambda_g / 8$  間隔および略  $\lambda_g / 4$  間隔で円筒導波管 14 の軸線（Z）方向に配設される。したがって、高周波発振器 30 の発振周波数を基準信号の周波数に固定し、高周波発

振器 30 の発振周波数のうち基準信号の周波数と異なる周波数成分を低減することにより、プラズマ P の生成前後で負荷側のインピーダンスが変化したとしても、負荷側と電源側とのインピーダンスの整合を正確に行うことができる。このため、プラズマ P の生成前後を通して、処理容器 1 内に効率よく高周波電磁界を供給でき、プラズマ処理装置のエネルギー効率を向上させることができる。

また、高出力のマグネトロンなどから構成される高周波発振器 30 の発振周波数を基準発振器 34 を用いて所定の周波数に固定することにより、高出力のトランジスタ発振器などの高価な発振器で高周波発振器 30 を構成する必要がなくなる。周波数安定性のよい DRO などの発振器であっても、出力電力が例えば 10 W 程度と低いものは安価であるので、このような安価な発振器を基準発振器 34 として用いることにより、プラズマ処理装置の製造コストを抑制しつつ、エネルギー効率の向上という上述した効果を得ることができる。

本実施例では、高周波発生源 11 からの高周波電磁界を処理容器 1 に導く第 1 の導波路が矩形導波管 12 と矩形円筒変換器 13 と円筒導波管 14 とから構成される例を示したが、高周波発生源 11 からの高周波電磁界を同軸ケーブルなどの導波線のみで処理容器 1 に導くようにしてもよいし、高周波発生源 11 から途中まで同軸ケーブルなどの導波線で導き、そのあと処理容器 1 まで同軸導波管などの導波管で導くようにしてもよい。すなわち、第 1 の導波路は、導波管または導波線、またはこれらを直列に接続した導波路により構成される。

また、基準発振器 34 からの基準信号を高周波発振器 30 に導く第 2 の導波路が矩形導波管ならなるランチャ 31 で構成される例を示したが、第 2 の導波路もまた、導波管（例えば、矩形導波管、円筒導波管または同軸導波管）の他、導波線（例えば、同軸ケーブル）、またはこれらを直列に接続した導波路により構成されてもよい。

#### （第 2 の実施例）

本発明の第 2 の実施例に係るプラズマ処理装置は、発振周波数が安定でかつ出力電力が可変の高周波発生源を備えたものである。

図 3 に示した高周波発生源 11 の出力電力を変えるには、高周波発振器 30 の出力電力  $P_o$  を変えればよい。しかし、高周波発振器 30 がマグネトロンなどで構

成される場合には、図4に示すように、出力電力 $P_o$ を変えるとそれに応じて中心周波数 $f_c$ が変化してしまう。また、(1)式から分かるように、高周波発振器30に注入される基準信号の周波数 $f$ および電力 $P_i$ が一定の場合、高周波発振器30の出力電力 $P_o$ が大きくなると、基準信号の周波数 $f$ に固定可能な高周波発振器の発振周波数の周波数幅（周波数固定幅） $\Delta f$ は小さくなる。このため、図4に示すように、高周波発振器30の出力電力 $P_o$ が $P_{o1}$ のときは周波数の固定が可能であったとしても、出力電力 $P_o$ を変化させて $P_{o1}$ より大きい $P_{o2}$ とした結果、高周波発振器1の本来の中心周波数 $f_c$ と基準信号の周波数 $f$ との差が広がって周波数固定幅 $\Delta f$ を超え、発振周波数の固定が不可能となり、発振周波数が不安定となる場合がある。そこで、発振周波数が安定でかつ出力電力が可変の高周波発生源について説明する。

図5は、この高周波発生源の構成を示す図である。この図では、図1に示した構成要素に相当する構成要素については、図1と同一符号で示している。

図5に示す高周波発生源11Aでは、出力電力が十分大きい高周波発振器30が用いられるとともに、サーキュレータ35の第2端子に減衰量が可変のアッテネータ50の入力端子が接続されている。アッテネータ50の出力端子には、図1に示した矩形導波管12が接続される。

アッテネータ50の減衰量を変化させることにより、その減衰量に応じて矩形導波管12へ出力される高周波電磁界の電力が変化する。この際、高周波発振器30の出力電力を変化させる必要がないので、周波数固定幅 $\Delta f$ は変わらず、発振周波数の固定が維持される。したがって、高周波発生源11Aによれば、発振周波数が安定した状態で、出力電力を変化させることができる。

図6A、図6Bおよび図7は、アッテネータ50の構成例を示す図である。図6Aおよび図6Bに示す抵抗体挿入型アッテネータ51は、矩形導波管52に板状の抵抗体53を挿入したものである。抵抗体53は矩形導波管52のE面（電界に平行な狭い管壁）と平行に配置された状態で、E面を貫通する支持棒54に取り付けられている。矩形導波管52内の電界強度はE面から垂直な方向に離れるにしたがって強くなるので、その方向に支持棒54を動かし、抵抗体53とE面との距離を変えることにより、矩形導波管52を通過する高周波電磁界の減衰

量を変えることができる。

一方、図7に示すT分岐分配型アッテネータ61は、矩形導波管63の側壁に矩形導波管62の一端が接続されるとともに、この矩形導波管62の中心軸に対して対称に2つの分岐導波管64、65のそれぞれの一端が接続され、さらに矩形導波管63の一端にダミーロード66が接続された構成を有している。矩形導波管62の中心軸と分岐導波管64、65の中心軸との間隔は $\lambda_g/4$ となっている。分岐導波管64、65のそれぞれの他端はショート板64A、65Aにより電気機能的にショートされている。この2つのショート板64A、65Aを分岐導波管64、65の軸線方向に $\lambda_g/4$ の間隔を保持したまま分岐導波管64、65内を摺動させると、矩形導波管62の他端から入力された高周波電磁界が矩形導波管63の一端または他端に分岐される割合が変化する。よって、矩形導波管63の他端から出力される高周波電磁界の減衰量を変えることができる。

#### (第3の実施例)

本発明の第3の実施例に係るプラズマ処理装置は、低価格で実現できる、高出力かつ周波数安定性のよい高周波発生源を備えたものである。

(1) 式から分かるように、高周波発振器に注入される基準信号の電力 $P_i$ に対して高周波発振器の出力電力 $P_o$ が大きいほど、基準信号の周波数 $f$ に固定可能な高周波発振器の発振周波数の周波数幅(周波数固定幅) $\Delta f$ は狭くなる。したがって、低出力の基準発振器を用いて高出力の高周波発振器の発振周波数を固定する場合には、高出力の高周波発振器の中心周波数 $f_c$ が少し変動しただけで周波数固定が維持できなくなり、安定した周波数固定が不可能になる。一方、高出力の基準発振器を用いて高出力の高周波発振器の発振周波数を固定すれば、安定した周波数固定が可能であるが、基準発振器として用いられるDROなどは高出力のものとなると格段に高価になる。そこで、高出力の基準発振器を用いない、高出力かつ周波数安定性のよい高周波発生源について説明する。

図8は、この高周波発生源の構成を示す図である。この図では、図1および図5に示した構成要素に相当する構成要素については、図1および図5と同一符号で示している。

図8に示す高周波発生源11Bは、マグネトロンなどからなる高周波発振器を

複数有している。これらの高周波発振器 30A, 30B, . . . , 30C はすべて、基準発振器 34 で生成される基準信号の注入により、この基準信号の周波数に発振周波数が固定される。高周波発振器 30A ~ 30C のそれぞれで生成された高周波電磁界は合成器 38 により合成された後、図 1 に示した矩形導波管 12 に出力される。

このように複数の高周波発振器 30A ~ 30C を設け、それぞれの出力電力を合成することにより、低出力発振器を複数用いて高出力発振器を 1 個用いたのと同等の出力電力が得られる。高周波発振器 30A ~ 30C として低出力発振器を用いることにより、基準発振器 34 として低出力発振器を用いても周波数固定幅  $\Delta f$  を広くとれるので、高周波発振器 30A ~ 30C の中心周波数が多少変動しても周波数固定を維持することができ、安定した周波数固定が可能となる。したがって、高出力かつ周波数安定性のよい高周波発生源を実現するために、高価な高出力の基準発振器を用いる必要がないので、高周波発生源およびそれが用いられるプラズマ処理装置の製造コストを抑制することができる。

なお、複数の高周波発振器 30A ~ 30C を設けたとしても、これらすべてを常時稼働させる必要はない。例えば、高周波発振器 30A ~ 30C のそれぞれの出力電力が 1 KW であり、1.9 KW の電力供給を行う場合には、2 個の高周波発振器 30A, 30B のみを稼働させるとともに、他の高周波発振器を停止させ、アッテネータ 50 を調整して出力電力を 2.0 KW から 1.9 KW に減衰させる。これにより停止させた高周波発振器の電力消費が削減されるので、高出力の高周波発振器を 1 個用いるよりもランニングコストが安くなる。

また、基準発振器 34 は複数の高周波発振器に対して共通に設けられてもよいし、高周波発振器 30A ~ 30C のそれぞれに個別に設けられてもよい。また、高周波発振器 30A ~ 30C の出力電力はすべて同じであっても、異なってもよい。また、サーキュレータ 35 とダミーロード 36 とからなる構成は、複数の高周波発振器に対して共通に設けられてもよいし、高周波発振器 30A ~ 30C のそれぞれに個別に設けられてもよい。

#### (第 4 の実施例)

本発明の第 4 の実施例に係るプラズマ処理装置は、低価格で実現できる高出力



かつ周波数安定性のよい高周波発生源を備えたものである。

図 9 は、この高周波発生源の構成を示す図である。この図では、図 1 および図 5 に示した構成要素に相当する構成要素については、図 1 および図 5 と同一符号で示している。

図 9 に示す高周波発生源 11C は、マグネトロンなどからなる高周波発振器を複数有している。これらの高周波発振器 30D, 30E, . . . , 30F はそれぞれ出力電力が異なり、出力電力が小さい順にカスケードに接続されている。すなわち、初段の高周波発振器 30D の出力電力を  $P_{od}$ 、2 段目の高周波発振器 30E の出力電力を  $P_{oe}$ 、最終段の高周波発振器 30F の出力電力を  $P_{of}$  とすると、

$$P_{od} < P_{oe} < \dots < P_{of}$$

となる。初段の高周波発振器 30D には基準発振器 34 が接続され、この基準発振器 34 で生成される基準信号が注入される。その他の高周波発振器にはその前段の高周波発振器により生成された高周波電磁界が注入される。最終段の高周波発振器 30F には、矩形導波管 33、サーキュレータ 35 およびアッテネータ 50 を介して図 1 に示した矩形導波管 12 が接続される。

高周波発振器 30D ~ 30F のすべての中心周波数が基準信号の周波数に近い場合、初段の高周波発振器 30D の発振周波数は、基準信号の注入によりこの基準信号の周波数に固定される。また、高周波発振器 30D の後段の高周波発振器 30E の発振周波数は、高周波発振器 30D で生成された高周波電磁界の注入により、この高周波電磁界の周波数すなわち基準信号の周波数に固定される。このように高周波発振器 30D ~ 30F のすべての発振周波数が連鎖的に基準信号の周波数に固定される。

このように、複数の高周波発振器 30D ~ 30F を出力電力が小さい順にカスケードに接続し、複数段で発振周波数の固定を行うことにより、各段での周波数固定幅  $\Delta f$  を広くとれるので、各段の高周波発振器の中心周波数が多少変動しても周波数固定を維持することができる。よって、低出力の基準発振器 34 を用いて高出力の高周波発振器 30F の発振周波数を固定する場合にも、安定した周波数固定が可能となる。したがって、高出力かつ周波数安定性のよい高周波発生源を実現するために、高価な高出力の基準発振器を用いる必要がないので、高周波

発生源およびそれが用いられるプラズマ処理装置の製造コストを抑制することができる。

(第5の実施例)

本発明は上述した高周波プラズマ処理装置だけでなく、電子サイクロトロン共鳴 (electron-cyclotron-resonance : ECR) プラズマ処理装置にも適用することができる。図10は、本発明が適用されたECRプラズマ処理装置の一構成例を示す図である。この図では、図1に示した構成要素に相当する構成要素については、図1と同一符号で示している。

図10に示すECRプラズマ処理装置は、プラズマが生成されるプラズマ室101Aと、プラズマCVDなどの処理が行われる反応室101Bとからなる容器101を有している。

プラズマ室101Aの外周には、プラズマ室101A内に磁束密度Bが87.5 mTの磁場を形成する主電磁コイル191が設けられている。プラズマ室101Aの上端には、誘電体板107を介して円筒導波管14の一端が接続され、この円筒導波管14から電子サイクロトロン振動数 (プラズマ中の電子が磁力線を中心に回転運動するときの振動数) 2.45 GHzと同じ周波数の高周波電磁界Fが供給される。

プラズマ室101Aと連通する反応室101Bの内部には、被処理体であるSi基板4が上面に配置される載置台103が收容されている。また、反応室101Bの底面の下には、補助電磁コイル192が設けられている。主電磁コイル191と補助電磁コイル192とからなる磁界発生器により、反応室101B内にミラー磁場MMが形成される。

また、プラズマ室101Aの上部には、例えばN<sub>2</sub>などのプラズマガスを供給するノズル106Aが設けられ、反応室101Bの上部には、例えばSiH<sub>4</sub>などの反応性ガスを供給するノズル106Bが設けられている。さらに、反応室101Bの下部には、真空ポンプに連通する排気口105が設けられている。

このような構成において、プラズマ室101A内に磁束密度Bが87.5 mTの磁場を形成するとともに、振動数が2.45 GHzの高周波電磁界Fを導入すると、電子サイクロトロン共鳴が起こり、高周波電磁界Fのエネルギーが電子に

効率よく移行し電子が加熱される。このようにして高周波電磁界Fで加熱された電子により、プラズマ室101A内のN<sub>2</sub>の電離または解離が続き、プラズマが生成される。

一方、プラズマ室101Aに一端が接続される円筒導波管14の他端には、矩形円筒変換器13および矩形導波管12を介して高周波発生源11が接続されている。この高周波発生源11は、図3に示したのと同様のものである。また、図14に示したような負荷整合器16、その駆動装置17、検波器18および制御装置19からなる自動整合装置も設けられている。円偏波変換器20が設けられていてもよい。

このように発振周波数が固定される高周波発生源11を用いることにより、自動整合装置によりインピーダンス整合を正確に行うことができる。これにより、プラズマ室101A内に効率よく高周波電磁界を供給でき、プラズマ処理装置のエネルギー効率を向上させることができる。

また、上述したように、高周波発生源11には高価な高出力発振器が不要であるので、エネルギー効率のよいプラズマ処理装置の製造コストを抑制することができる。

なお、高周波発生源11に代えて、図5、図8、図9に示した高周波発生源11A、11B、11Cを用いてもよい。

#### (第6の実施例)

本発明のプラズマ処理装置で使用可能な負荷整合器16は、図2に示した複数のスタブ71A～71C、72A～72Cからなるものに限定されない。図11は、負荷整合器16の他の構成例を示す図である。

図11に示す負荷整合器16は、円筒導波管14の軸線(Z)方向に対して垂直に接続された複数の分岐導波管から構成されている。より詳しくは、円筒導波管14の軸線(Z)方向に等間隔に配設された3本の分岐導波管271A～271Cと、これら3本の分岐導波管271A～271Cにそれぞれ対向して配設された3本の分岐導波管272A～272Cとから構成されている。

分岐導波管271A～271C、272A～272Cには、その導波管の軸線に垂直な断面が矩形の矩形導波管、断面が円形の円筒導波管、断面が楕円形の導

波管、断面が矩形の角を丸めた形状の導波管、中央部にリッジが設けられたリッジ導波管を用いることができる。

各分岐導波管 271A～271C, 272A～272C は、一端が円筒導波管 14 内に開口し、他端がショート板 275 により電気機能的にショートされている。このショート板 275 は、図 12A に示すように上下両端が直角に折曲されて側面視コの字形をなし、折曲された部分（以下、折曲部分という）275A が円筒導波管 14 の開口端とは反対側に向かうように分岐導波管 271A～274C に挿入される。ショート板 275 の折曲部分 275A の長さを略  $\lambda_g/4$  とし絶縁シートを張り付けて所謂チョーク構造とすると、ショート板 275 の位置における高周波電磁界の反射を確実にしながら、可動性をもたせることができる。なお、ショート板 275 は、図 12B に示すように上下左右の端部が直角に折曲された構成にしてもよい。

ショート板 275 は、分岐導波管 271A～271C, 272A～272C の軸線方向に延びる棒 276 の先端に取り付けられている。この棒 276 を負荷整合器 16 の駆動装置で分岐導波管 271A～271C, 272A～272C の軸線方向に平行移動させることにより、ショート板 275 を分岐導波管 271A～271C, 272A～272C 内で自在に摺動させることができる。

分岐導波管 271A～271C, 272A～272C のリアクタンスは、その一端から他端までの長さを管内波長  $\lambda_g$  で割った値である電気長に応じて変化する。よって、分岐導波管 271A～271C, 272A～272C の他端をなすショート板 275 を摺動させて電気長を変化させることにより、分岐導波管 271A～271C, 272A～272C のリアクタンスを、－（マイナス）の十分大きい値から 0（ゼロ）を介して＋（プラス）の十分大きい値まで変化させることができる。

分岐導波管 271A～271C, 272A～272C のそれぞれの円筒導波管 14 の軸線（Z）方向の間隔は  $\lambda_g/4$  とする。したがって、上述したように分岐導波管 271A～271C, 272A～272C のリアクタンスを 0（ゼロ）から＋／－の十分大きい値まで変化させることにより、負荷整合器 16 の整合域をスミスチャート全域とすることができる。分岐導波管 271A～271C 等の間

隔を $\lambda_g/8$ としても、同様に整合域をスミスチャート全域とすることができる。これにより負荷であるプラズマからの反射が大きい場合でも、全位相でインピーダンス整合が可能となる。

また、分岐導波管 271A～271C, 272A～272Cは、スタブ71A～71C, 72A～72Cのような円筒導波管14内に突出する構成を有しないので、負荷であるプラズマからの反射が大きくても、対向する分岐導波管271A～271Cと分岐導波管272A～272Cとの間で放電が起きることはない。

なお、分岐導波管271A～271Cのみでも、整合域をスミスチャート全域とし、全位相でインピーダンス整合をとることは可能である。

また、円筒導波管14の軸線(Z)方向に配設される分岐導波管を3本以上とした場合にも、その間隔を $\lambda_g/4$ または $\lambda_g/8$ とすることにより、全位相でインピーダンス整合をとることができる。

また、軸線(Z)方向に配設される分岐導波管の間隔が等しくなくても、全位相でのインピーダンス整合は可能である。例えば分岐導波管271Aと271Bとの間隔を $\lambda_g/4$ とし、分岐導波管271Bと271Cとの間隔を $\lambda_g/8$ としてもよい。

一方、軸線(Z)方向に配設される分岐導波管を2本とすると、または円筒導波管14の軸線(Z)方向に配設される分岐導波管の間隔を $\lambda_g \times N/2$ ,  $\lambda_g/4$ ,  $\lambda_g/8$ を除く値とすると、整合域は狭くなるが、このような構成であっても条件によっては利用可能である。

以上では、自動整合装置の負荷整合器16および検波器18を円筒導波管14に設ける例を示したが、矩形導波管12に設けるようにしてもよい。

なお、本発明のプラズマ処理装置は、エッチング装置、CVD装置、アッシング装置などに利用することができる。

上述した実施例では、プラズマ生成に用いられる高周波電磁界を生成する高周波発振器よりも出力電力が低くかつ発振周波数が安定した基準発振器を用意し、この基準発振器により生成された基準信号を高周波発振器に注入し、高周波発振器の発振周波数を基準信号の周波数に固定する。これにより、高周波発振器の周

波数帯幅が狭くなりかつ発振周波数が安定化するので、基準信号の周波数と異なる周波数成分が低減される。よって、高周波発振器で生成された高周波電磁界をプラズマが生成される容器へ導く導波路に設けられる自動整合装置を基準信号の周波数を基に設計することにより、インピーダンス整合を正確に行い、エネルギー効率を向上させることができる。

また、周波数安定性のよい発振器であっても出力電力が低いものは安価であるので、このような安価な発振器を基準発振器として用いることにより、エネルギー効率のよいプラズマ処理装置の製造コストを抑制することができる。

また、上述した実施例では、高周波発振器で生成された高周波電磁界をアッテネータで減衰させてプラズマが生成される容器内に供給する。これにより、容器内への供給電力を変化させることができる。この際、高周波発振器の出力電力を変化させる必要がないので、出力電力の変化に応じた中心周波数の変化により、発振周波数の固定が維持できなくなることを防止できる。

また、上述した実施例では、基準信号が注入される複数の高周波発振器により生成された高周波電磁界を合成し、プラズマが生成される容器に供給する。あるいは、複数の高周波発振器を出力電力が小さい順にカスケードに接続し、初段の高周波発振器には基準信号を注入し、その他の高周波発振器にはその前段の高周波発振器により生成された高周波電磁界を注入し、最終段の高周波発振器により生成された高周波電磁界をプラズマが生成される容器に供給する。このような構成をとることにより、高出力かつ周波数安定性のよい高周波発生源を実現するために、基準発振器として高価な高出力発振器を用いる必要がなくなるので、プラズマ処理装置の製造コストを抑制することができる。

## 請 求 の 範 囲

1. 被処理体が載置される載置台と、

この載置台を収容するとともに、供給される高周波電磁界により内部にプラズマが生成される容器と、

前記高周波電磁界を生成する高周波発振器と、

この高周波発振器よりも出力電力が低くかつ発振周波数が安定した基準発振器とを備え、

前記基準発振器により生成された基準信号を前記高周波発振器に注入することにより、前記高周波発振器の発振周波数が前記基準信号の周波数に固定されることを特徴とするプラズマ処理装置。

2. 請求の範囲第1項に記載のプラズマ処理装置において、

前記高周波発振器により生成された前記高周波電磁界を前記容器に導く導波路を備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

3. 請求の範囲第2項に記載のプラズマ処理装置において、

前記高周波発振器は、前記高周波電磁界を前記導波路に出力する第1のアンテナを有することを特徴とするプラズマ処理装置。

4. 請求の範囲第3項に記載のプラズマ処理装置において、

前記基準発振器は、前記基準信号を前記導波路に出力し、前記第1のアンテナを介して前記高周波発振器に注入することを特徴とするプラズマ処理装置。

5. 請求の範囲第4項に記載のプラズマ処理装置において、

前記基準発振器と前記導波路との接続部に設けられかつ前記高周波発振器の側からの前記高周波電磁界を前記容器の側へ送るとともに前記基準発振器の側からの前記基準信号を前記高周波発振器の側へ送る素子を備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

6. 請求の範囲第1項に記載のプラズマ処理装置において、

前記高周波発振器は、マグネトロンであることを特徴とするプラズマ処理装置。

7. 請求の範囲第1項に記載のプラズマ処理装置において、

前記基準発振器は、誘電体発振器であることを特徴とするプラズマ処理装置。

8. 請求の範囲第2項に記載のプラズマ処理装置において、

前記導波路に接続されかつ前記高周波電磁界を減衰させるアッテネータを備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

9. 請求の範囲第2項に記載のプラズマ処理装置において、

前記基準信号が注入される前記高周波発振器を複数備え、

更に、これらの高周波発振器により生成された前記高周波電磁界を合成し前記導波路に出力する合成器を備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

10. 請求の範囲第2項に記載のプラズマ処理装置において、

前記高周波発振器を複数備え、これら複数の高周波発振器は出力電力が小さい順にカスケードに接続され、初段の高周波発振器には前記基準信号が注入され、その他の高周波発振器にはその前段の高周波発振器により生成された高周波電磁界が注入され、最終段の高周波発振器により生成された高周波電磁界が前記導波路に出力されることを特徴とするプラズマ処理装置。

11. 請求の範囲第2項に記載のプラズマ処理装置において、

前記導波路に設けられかつ前記高周波発振器の側からの前記高周波電磁界を前記容器の側へ送るとともに前記容器の側からの高周波電磁界をダミーロードへ送る素子を備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

12. 請求の範囲第2項に記載のプラズマ処理装置において、

前記導波路に設けられかつ前記高周波発振器の側と前記容器の側とのインピーダンスの整合を行う負荷整合器を備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

13. 請求の範囲第11項に記載のプラズマ処理装置において、

前記負荷整合器は、前記導波路の軸線方向に対して垂直に接続されかつ一端が前記導波路内に開口するとともに他端が電気機能的にショートされた分岐導波管を複数備え、

これらの分岐導波管は、前記導波路の軸線方向に前記基準信号の周波数に基づく所定の間隔で配設されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

14. 請求の範囲第2項に記載のプラズマ処理装置において、

前記載置台に対向配置されるとともに前記導波路に接続されかつ前記導波路に



より導かれた前記高周波電磁界を前記容器内に供給する第2のアンテナを備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

15. 請求の範囲第1項に記載のプラズマ処理装置において、

前記容器内に磁界を形成する磁界発生器を備え、電子サイクロトロン共鳴により加熱された電子を用いてプラズマを生成することを特徴とするプラズマ処理装置。

16. 高周波電磁界を生成する高周波発振器よりも出力電力が低くかつ発振周波数が安定した基準発振器により基準信号を生成するステップと、

前記基準信号を前記高周波発振器に注入し、前記高周波発振器の発振周波数を前記基準信号の周波数に固定するステップと、

前記高周波発振器により生成された高周波電磁界を容器内に供給し、プラズマを生成するステップと、

前記プラズマを用い、前記容器内に配置された被処理体に対し処理を行うステップと

を備えたことを特徴とするプラズマ処理方法。

17. 請求の範囲第16項に記載のプラズマ処理方法において、

前記高周波電磁界を前記容器内に供給する前に、前記高周波電磁界をアッテネータにより減衰させることを特徴とするプラズマ処理方法。

1/11

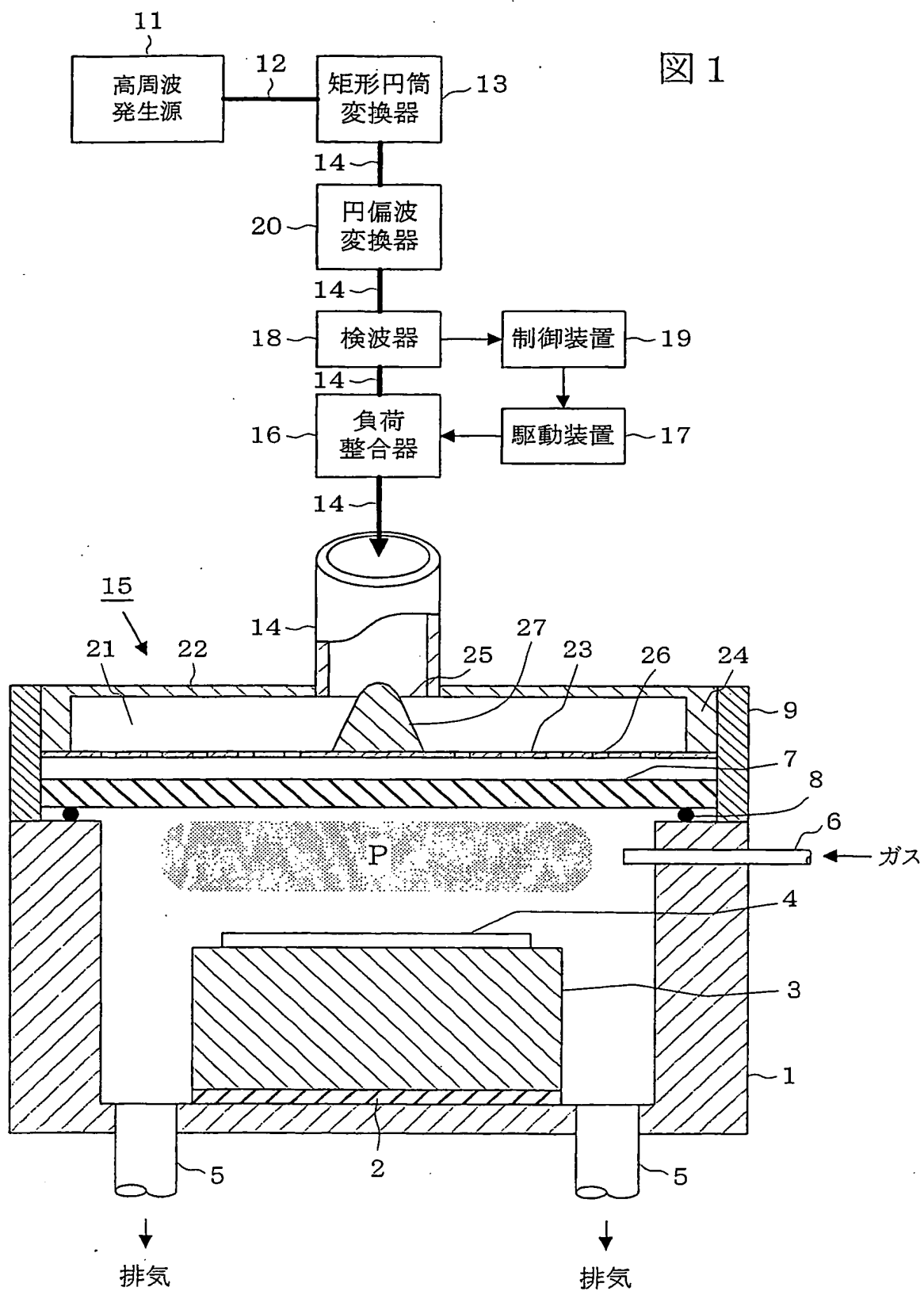


図 2

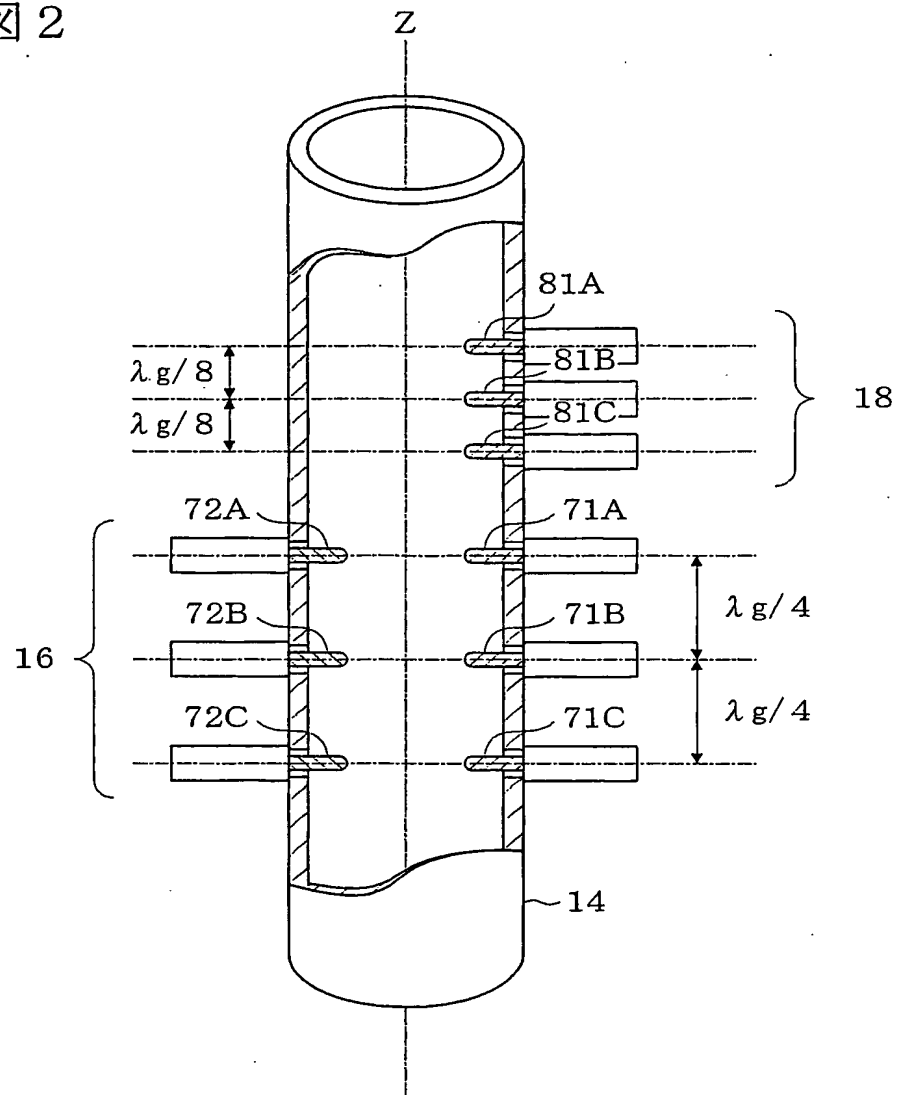
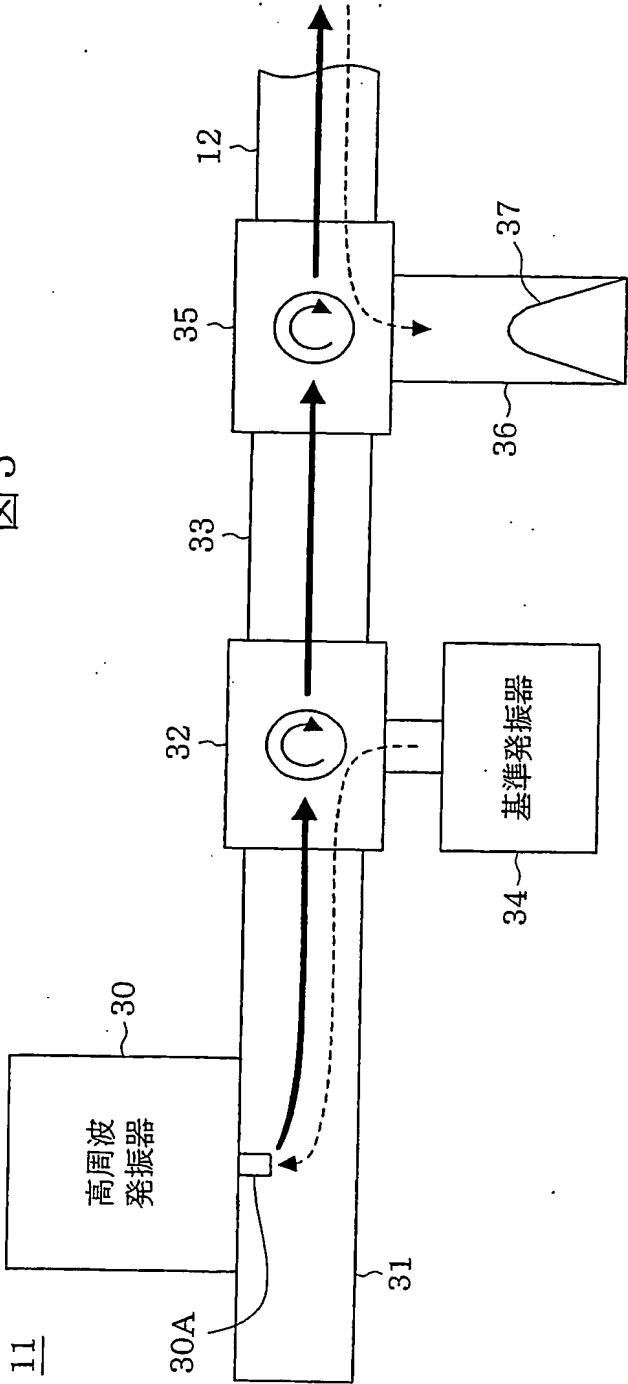


図 3



4/11

図 4

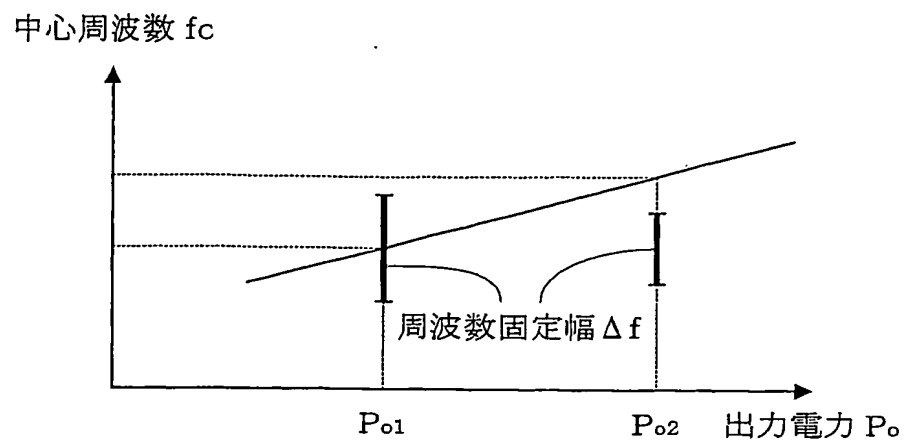
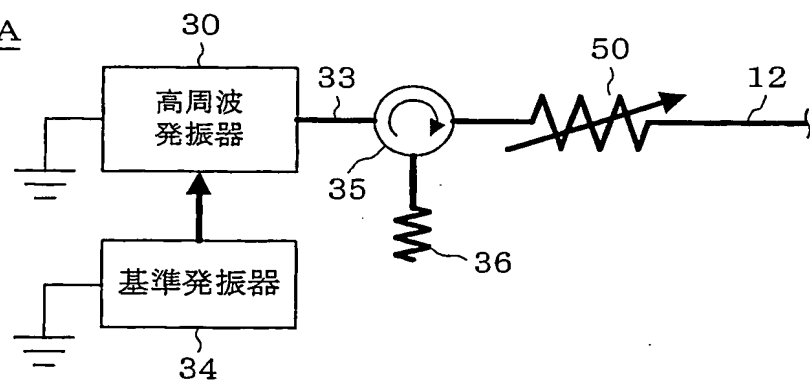


図 5

11A



5/11

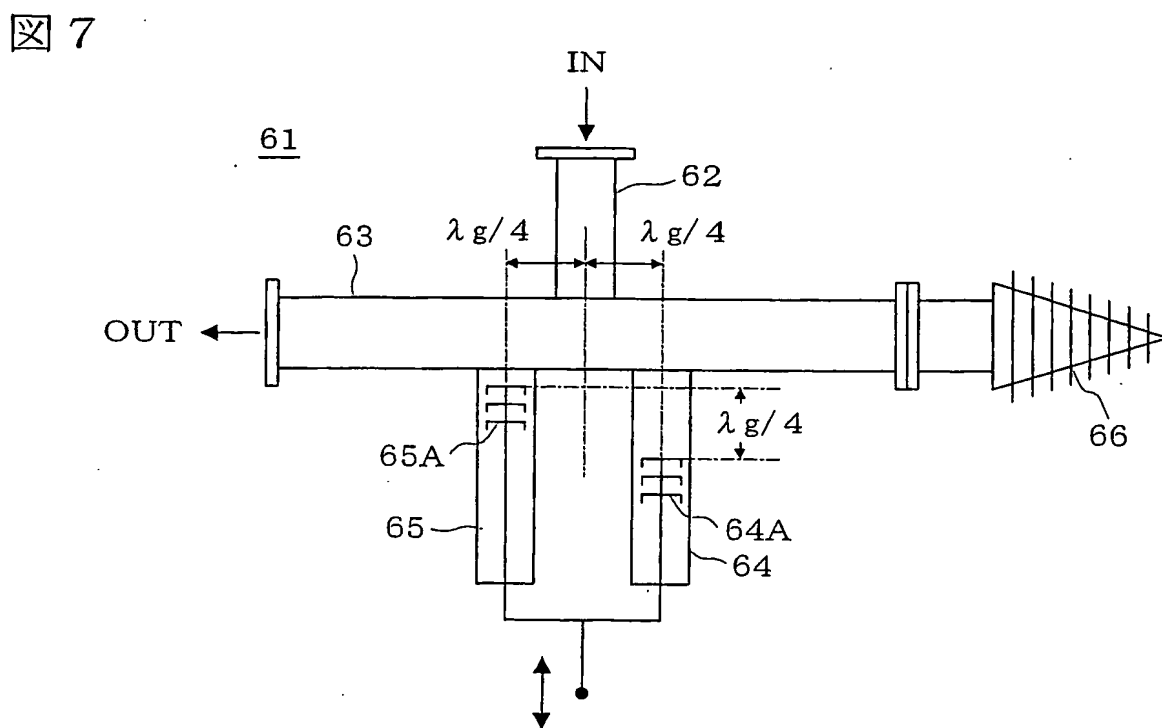
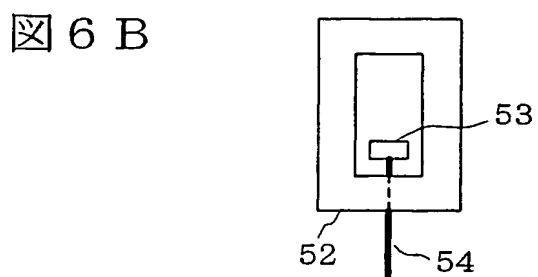
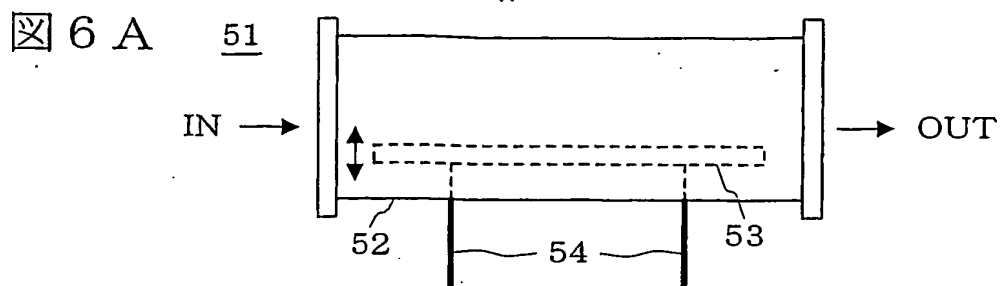


図 8

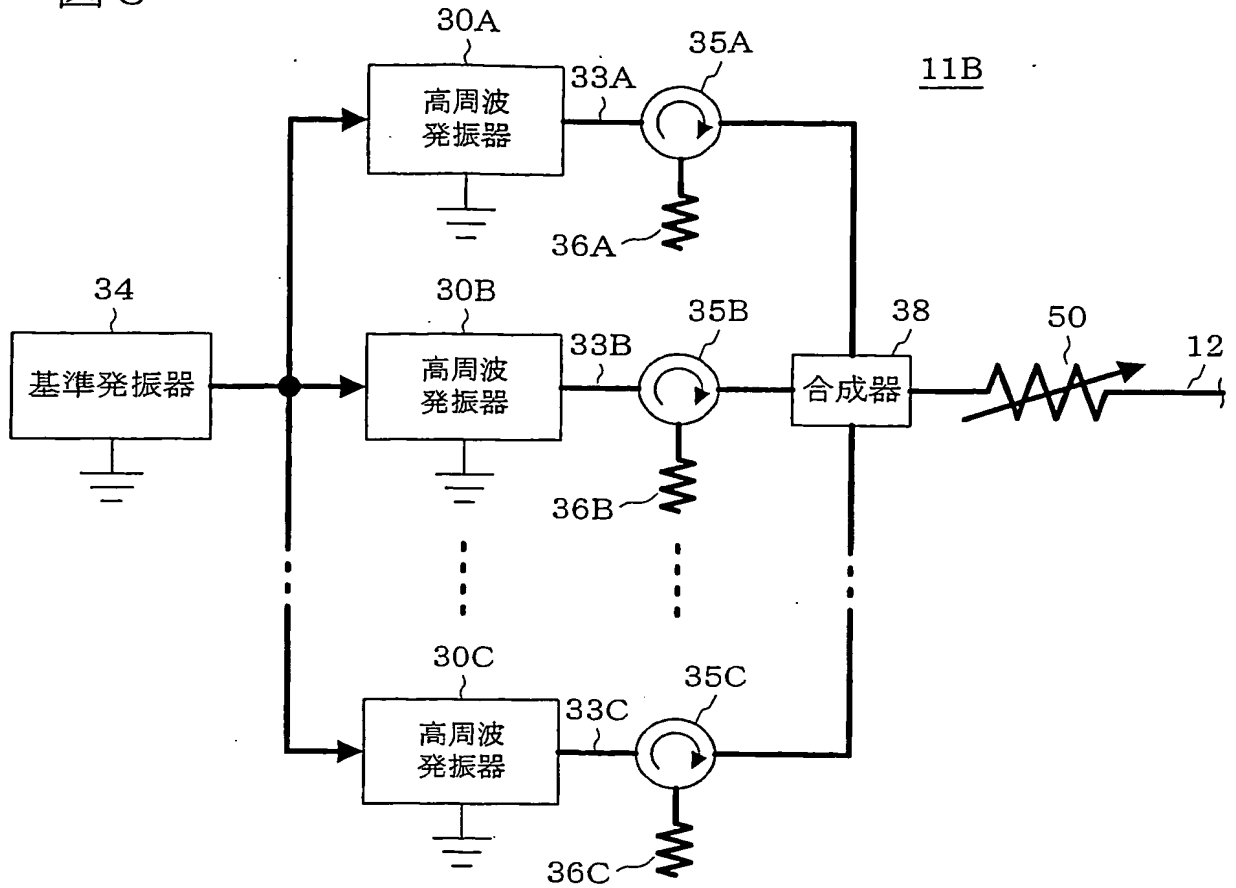
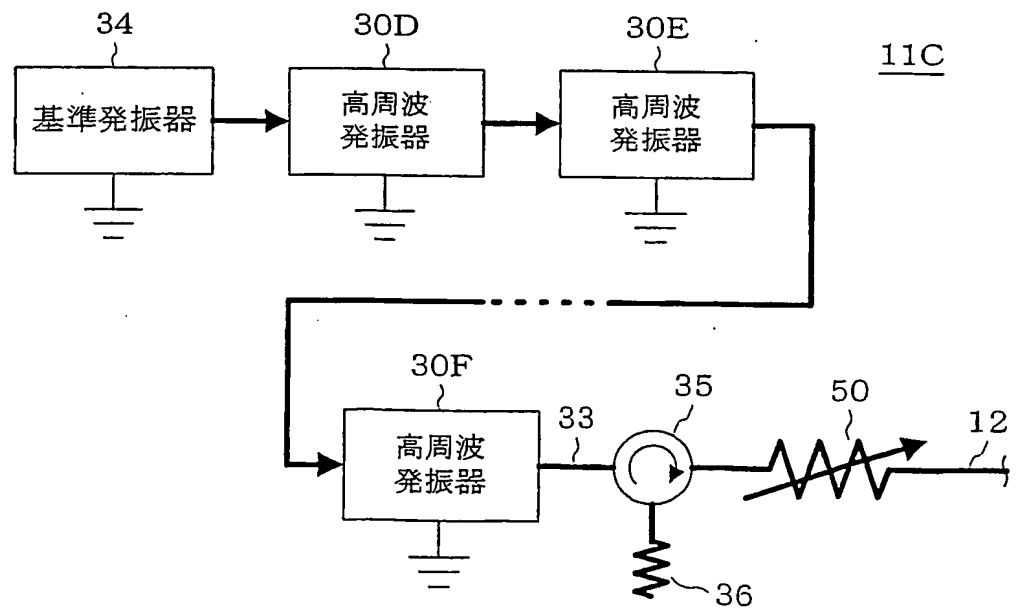


図 9



7/11

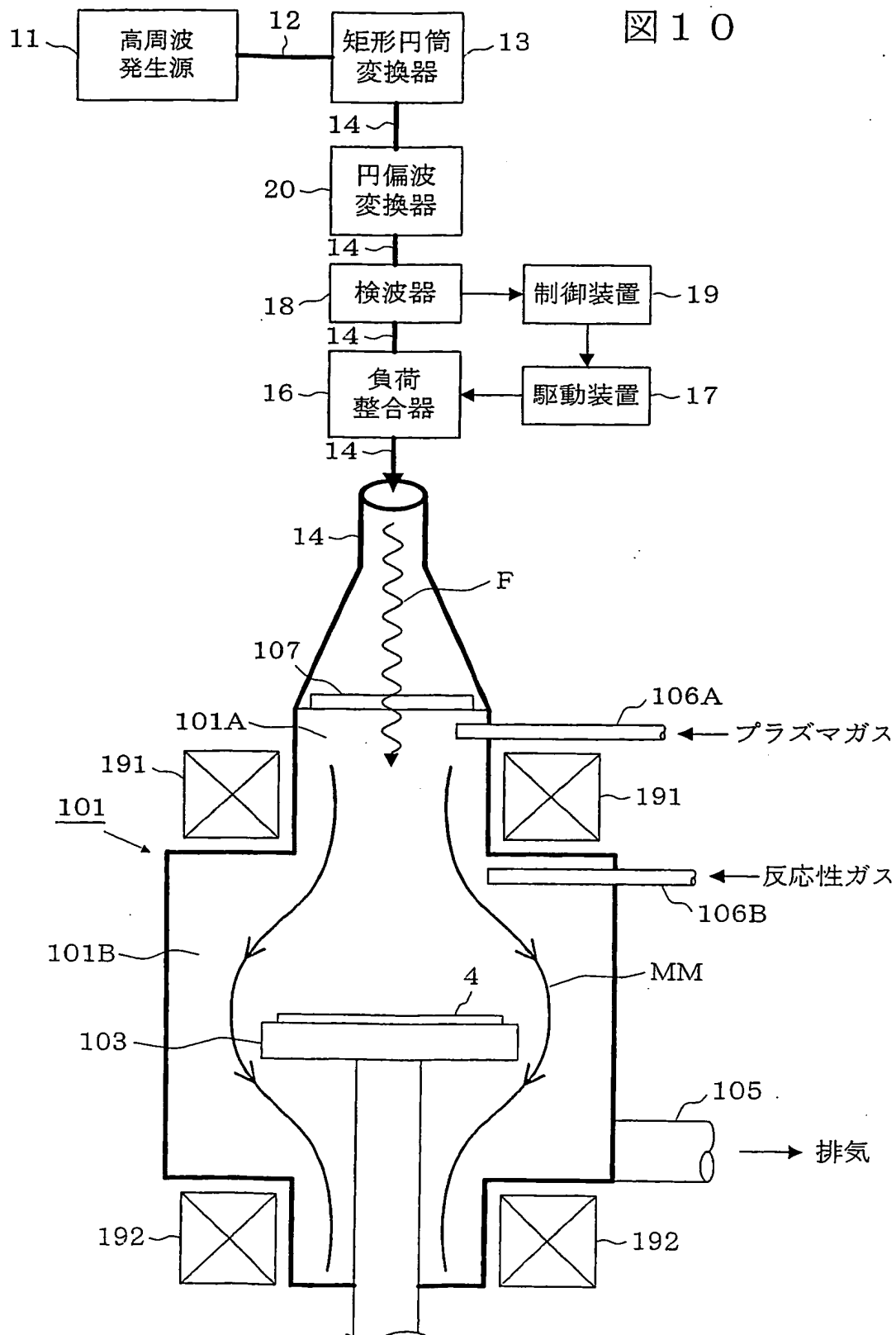




図 11

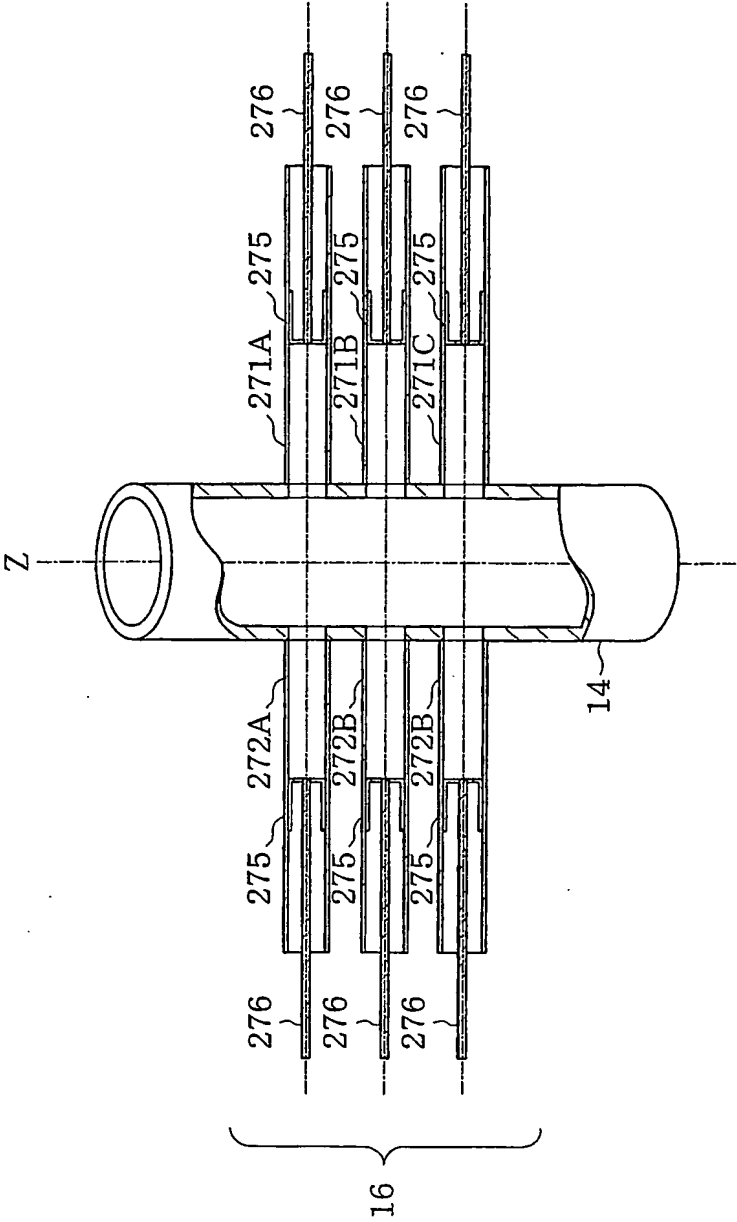


図 1 2 A

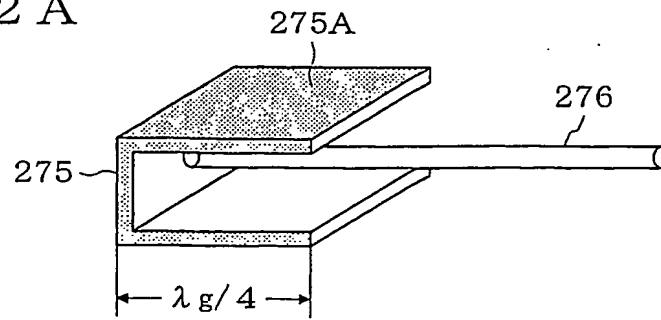


図 1 2 B

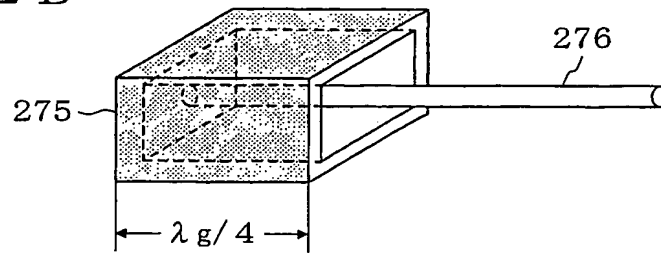


図 1 3

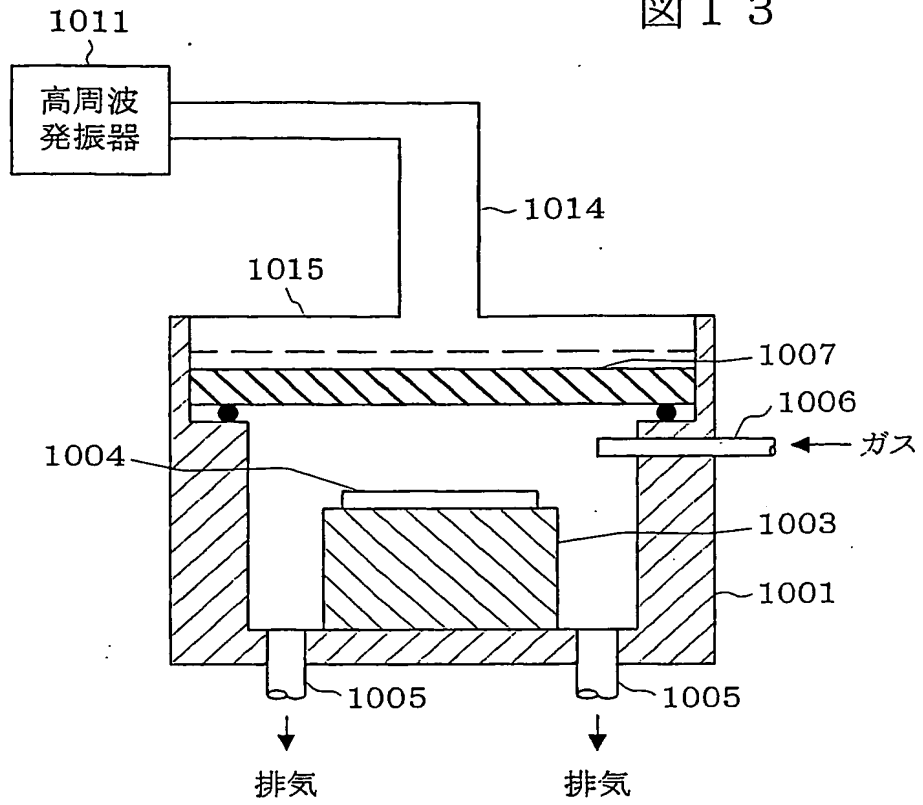
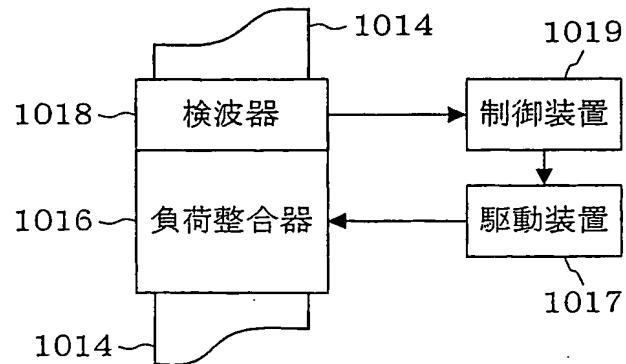


図 1 4



11/11

図 1 5 A

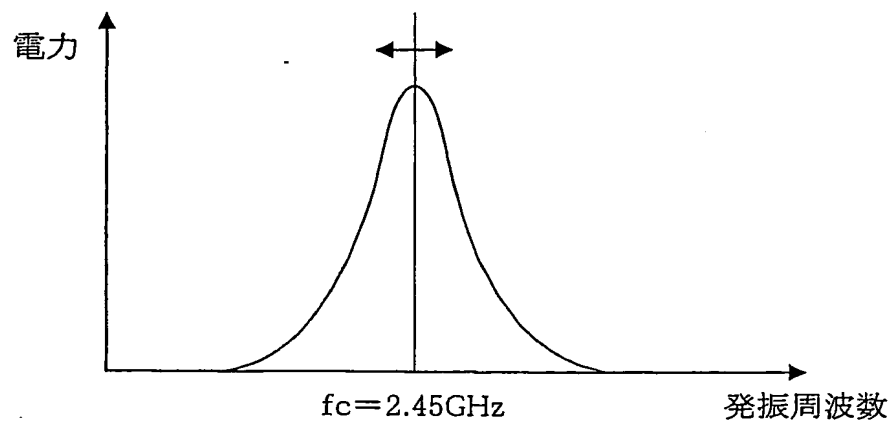
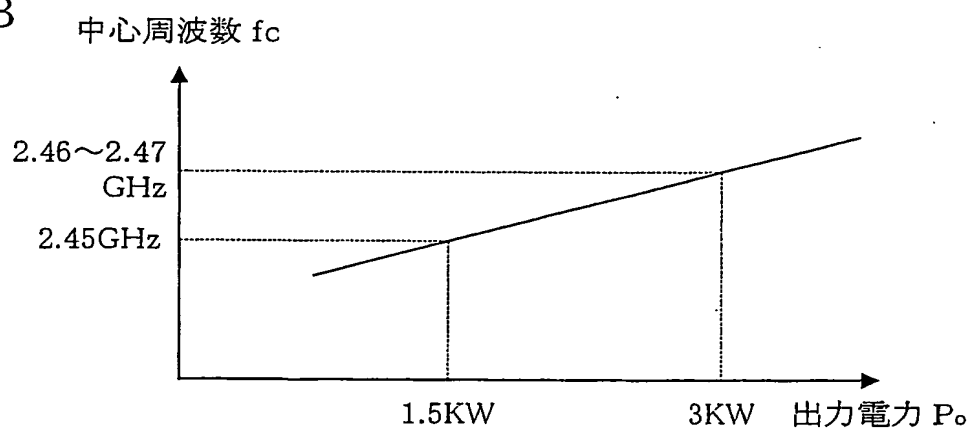


図 1 5 B



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/000665

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H05H1/46, H01L21/3065

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H05H1/46, H01L21/3065, C23C16/511

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1940-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-294460 A (Tadahiro OMI), 09 October, 2002 (09.10.02), Par. Nos. [0052], [0054] & WO 02/80632 A1	1-17
A	JP 64-11403 A (New Japan Radio Co., Ltd.), 17 January, 1989 (17.01.89), Full text; all drawings (Family: none)	1-17
A	JP 10-335095 A (Hitachi, Ltd.), 18 December, 1998 (18.12.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-17



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
14 April, 2004 (14.04.04)Date of mailing of the international search report  
11 May, 2004 (11.05.04)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/000665

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-274099 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 05 October, 2001 (05.10.01), Full text; all drawings & US 2001-21422 A1	1-17

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H05H1/46, H01L21/3065

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H05H1/46, H01L21/3065, C23C16/511

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1940-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2002-294460 A(大見忠弘) 2002.10.09 段落0052, 0054 & WO 02/80632 A1	1-17
A	JP 64-11403 A(新日本無線株式会社) 1989.01.17 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 10-335095 A(株式会社日立製作所) 1998.12.18 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-17

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14. 04. 2004

国際調査報告の発送日

11. 5. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
山口 敦司

2M 9216

電話番号 03-3581-1101 内線 6989

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2001-274099 A(三菱重工業株式会社) 2001.10.05 全文, 全図 & US 2001-21422 A1	1 - 17